

Evaluación de un material compuesto reforzado con fibras de bagazo en matriz de cemento

Juan Fernández-Rodríguez^{1*}, Nelson Díaz-Hernández²

1 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca). Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*juan.fernandez@icidcamy.azcuba.cu

2 Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (Cecat). Calle 114, No. 11901. e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, CP 19390 La Habana, Cuba.

RESUMEN

La fibra de bagazo de caña de azúcar, tratada con silicato de sodio, se evaluó como refuerzo en la matriz de cemento, obteniéndose un material compuesto que presentó propiedades mecánicas aceptables para ser utilizado en sistemas constructivos de bajo costo.

Este material, con una carga de 10 % de fibra en relación con el peso total del cemento, permite reducciones en la densidad del fibroconcreto, a los 28 días de curado, de 9,65 % a 10,72 % para los tamaños de partícula de bagazo de 3,15 mm y 8,5 mm, respectivamente, en comparación con el testigo, cuya densidad media es de 2165 kg/m³. La resistencia a la compresión del concreto, reforzado con fibras de bagazo impregnadas con silicato de sodio, es inversamente proporcional al porcentaje de fibra añadida y la longitud media de la misma. Cuando este material compuesto se compacta en el intervalo de 1 a 5 kg/m², la resistencia a la compresión aumenta cerca de la correspondiente al control, mientras que la resistencia a la flexión es superior.

La producción de paneles y tableros de bagazo-concreto y su comercialización representa una alternativa ventajosa para dar solución a programas de construcción masivos de viviendas de bajo costo.

PALABRAS CLAVE: bagazo de caña, fibra, cemento.

ABSTRACT

Sugarcane bagasse fiber, treated with sodium silicate, was evaluated as reinforcement in cementitious matrix by yielding a composite material, which presented acceptable mechanical properties to be used in low cost construction systems.

This material, with a load of 10 % of fiber in relation to the total weight of the cement, allows reductions in the composite density, at 28 days of curing; ranging from 9.65 % to 10.72 % for bagasse particle sizes of 3.15 mm and 8.5 mm, respectively, compared to the control, whose average density is 2165 kg/m³.

The compressive strength of the reinforced concrete with bagasse fibers, impregnated with sodium silicate, is inversely proportional to the percentage of the added fiber and the average length of the same. When this compound material is compressed in the range from 1 to 5 kg/m², compression strength increases close to that corresponding to the control, while the flexural strength exceeds that one from the control.

The production of panels and boards from bagasse-concrete and its commercialization represents an advantageous alternative to give solution to massive construction programs of low cost houses.

KEYWORDS: sugarcane bagasse, fiber, cement.

INTRODUCCIÓN

En términos del volumen usado, los materiales cementicios, principalmente en la forma de concreto, son los materiales más exitosos a escala mun-

dial (1). El concreto es un material bastante rígido pero no lo suficientemente fuerte en tensión como para resistir la fractura (2) por lo que la adición de fibras puede reducir la fisuración provocada por el encogimiento plástico o retracción del cemento.

Por otra parte, el uso de recursos renovables en la industria de la construcción ayudará a alcanzar un modelo de consumo más sostenible de los materiales de construcción (3). El desarrollo de productos a partir de cemento, reforzados con fibras naturales cumple las exigencias comerciales, medioambientales y de seguridad a la salud, por lo que constituyen una opción de interés en la actividad constructiva (4, 5).

Los primeros productos de materiales compuestos a partir de matriz cementicia contenían una gran proporción de cemento (2 partes de cemento: 1 parte de arena), debido a ello se le dio el nombre de "fibrocemento". La nueva generación de compuestos reforzados con fibra compactados mecánicamente contienen sólo 1 parte de cemento: 1 a 2 partes de arena (dependiendo de la calidad del cemento), de ahí que el nombre de "fibroconcreto" se hiciera más apropiado.

La proporción de cemento necesita ser mayor si la arena no tiene una buena granulometría y si no se puede hacer la compactación con una máquina vibradora. Para la compactación manual mediante apisonado la relación cemento: arena debe ser 1:1. La idea de reducir la cantidad de cemento sustituyéndola por su equivalente en arena responde a la necesidad de disminuir los costos de producción.

Los tipos y características del fibroconcreto son extremadamente diversos, dependiendo del tipo y cantidad de fibra empleada, del tipo y cantidad de cemento, arena y agua, los métodos de mezclado, colocación y curado, y - no menos importante - de la destreza en la producción, supervisión y control de calidad.

Actualmente se fabrican distintos tipos de paneles y tableros obtenidos a partir de un material compuesto de fibra y de un aglutinante inorgánico como el cemento Portland, la magnesita o el yeso. Los componentes fibrosos más empleados son la lana de madera, las virutas de madera, la celulosa de maderas coníferas y otros materiales lignocelulósicos como la cáscara de arroz, el bagazo, el tallo del algodón, etc.

En el uso del bagazo no existe una gran experiencia, como en el caso de la madera, en la producción de productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos. Se señalan como positivos los trabajos realizados en Cuba en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (6) en la década de los 80 y los trabajos del Centro de Estudio de Construcción y Arquitectura Tropical (Cecat) (7), donde también emplearon fibra de coco, además de los trabajos llevados a cabo en Colombia (8).

El desarrollo de la tecnología de producción de paneles y tableros de bagazo - concreto y su imple-

mentación en la práctica social representa una alternativa ventajosa para dar solución a programas de construcción masivos de viviendas de bajo costo.

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la potencialidad del bagazo mineralizado con silicato de sodio como aditivo químico para mejorar las propiedades superficiales de las fibras en la formación del material compuesto (fibroconcreto) en su combinación con cemento Portland, arena y agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el trabajo experimental se empleó bagazo fresco del central Manuel Fajardo, el cual se desmeduló en suspensión hasta un contenido de fibra del 82 %, lo que favoreció la eliminación de sólidos solubles que resultan dañinos para el fraguado del concreto. Como componentes del material compuesto se utilizó el bagazo tratado con silicato de sodio, el cemento Portland del Mariel y la arena de la cantera Victoria en Pinar del Río.

El bagazo desmedulado después de secarse en condiciones naturales y alcanzar una humedad del 11,8 %, se molió en seco, en una sola etapa, en un molino de discos de 30 cm de diámetro, de la marca Spruot Waldron, con discos del tipo D2A507, a una separación entre discos igual a 0,635 mm. Después de molido, el bagazo se clasificó manualmente en dos tamaños de partículas. Las partículas más grandes se obtuvieron pasando varias veces el bagazo por el tamiz con huecos de 8 mm de diámetro, el retenido se desechaba y el que pasaba se cernía por un tamiz de 5 mm de diámetro de hueco y el retenido en este tamiz formaba parte de la fracción fibrosa más grande utilizada en la formación de los compuestos cementicios.

Las partículas más pequeñas se obtuvieron pasando por un tamiz de 2,83 mm de diámetro de hueco la fracción que pasaba por el tamiz de 5 mm. El retenido se rechaza y el aceptado se pasa por un tamiz de 1,66 mm de diámetro de hueco, rechazando todo el material fino que pasa y aceptando el material retenido en dicho tamiz.

La determinación del tamaño de partícula del bagazo se midió en un lector óptico milimetrado. Los datos se procesaron estadísticamente mediante el Programa STATGRAPHIC para estimar la media y la desviación estándar.

El bagazo, con los tamaños de partículas preestablecidos, se impregnó con una solución de silicato de sodio para provocar un cambio superficial en la partícula y facilitar la compatibilidad física y la adherencia con la matriz cementicia. Se aplicó entre un 20 % de silicato 41° Be en base a fibra completamente seca. El volumen de silicato correspon-

diente a este peso se diluyó en agua para formar una mezcla con el 22 % p/p de silicato. Esta mezcla se le adicionó a la fibra de bagazo que contenía un 10 % de humedad y se mezcló durante 3 minutos en un macerador-mezclador y luego el secado se realizó en una estufa de tiro forzado a 60 °C durante 24 horas.

El mezclado de los componentes que conforman el material compuesto se realizó en un mezclador vertical que se muestra en la figura 1, siguiendo la siguiente secuencia:

1. Cemento + Agua -30 segundos (velocidad lenta).
2. Adición de la fibra en 30 segundos (velocidad lenta).
3. Adición de la arena en 30 segundos (velocidad lenta).
4. 30 segundos de velocidad rápida.
5. Parar 60 segundos para remover los materiales. y observar si ocurre falso fraguado.
6. 60 segundos de velocidad rápida.

Las probetas de ensayo se prepararon en moldes metálicos desarmables que contienen tres probetas de 16 x 4 x 4 cm, los cuales después de llenarse con la mezcla se compactan en una máquina mediante vibración por impacto. Después de retirar el molde de la máquina compactadora se enrasó el mortero con el canto de una regla que se trasladó en el sentido longitudinal del molde. Todas las probetas se dejaron curando en condiciones de humedad relativa y temperatura preestablecidas. Los ensayos se realizaron a los 7 y a los



Figura 1. Mezcladora de eje vertical.

28 días de curado. En los ensayos físico-mecánicos de las probetas se emplearon las normas ASTM; en tanto que para los ensayos de la arena se aplicaron las normas cubanas NC-181, NC-182, NC-184 y la NC-186, todas del 2002.

Para la determinación de la resistencia del cemento se aplicó la norma cubana NC 95:2001. De acuerdo con esta norma, dicha determinación se realiza en mortero patrón de relación en peso: 1 cemento, 3 arena, 0,5 agua (450 g: 1350 g: 225 ml).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra la longitud promedio y el diámetro promedio de los dos tamaños de partículas de bagazo seleccionados para el estudio.

Tabla 1. Dimensiones de las partículas del bagazo mineralizado

Longitud promedio (mm)	3,15	8,5
Desviación estándar	0,504	0,850
Diámetro (mm)	0,89	1,25
Desviación estándar	0,0712	0,096

En la tabla 2 se presentan las dosificaciones de cada uno de los componentes del material compuesto, como se aprecia, para cada uno de los distintos tamaños de partículas se fue sustituyendo parte del árido por fibras para estudiar el efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del fibroconcreto producido. La carga de cemento y la relación agua/cemento se mantuvieron constante en todos los experimentos.

En la tabla 3, se presenta la granulometría de la arena de la cantera Victoria. La proporción de cemento debe ser mayor si la arena no tiene una adecuada granulometría y si no se hace la compactación con una máquina vibradora. En este caso como la arena era de una granulometría gruesa se escogió relación arena/ cemento cercana a 1:1. Demasiado arena generará un producto poroso y frágil. Mientras que poca arena implica desperdicio del cemento que es más caro y una mayor tendencia a desarrollar grietas durante el fraguado.

En la tabla 4 se refleja el peso unitario suelto (P.U.S), el peso unitario compactado (P.U.C), el peso específico compactado (P.E.C), el peso específico suelto (P.E.S), el peso específico aparente (P.E.A) y otras propiedades de la arena Victoria.

En la elaboración del material compuesto se empleó cemento Portland fresco de la fábrica del Mariel recogido directamente en la tolva y envasado en sacos de nylon para evitar la hidratación. Su caracterización física se presenta en la tabla 5,

Tabla 2. Dosificaciones por componentes en (g) para un molde de tres probetas

	Control		Longitud 3,15 mm				Longitud 8,5 mm			
Componentes	Exp. 0	%	Exp.1	%	Exp.2	%	Exp.3	%	Exp.4	%
Cemento	856,8	39,0	856,8	39,0	856,8	39,0	856,8	39,0	856,8	39,0
Arena	912,0	41,5	869,2	39,6	826,4	37,6	869,2	39,6	826,4	37,6
Agua	428,4	19,5	428,4	19,5	428,4	19,5	428,4	19,5	428,4	19,5
Fibra	0,0	0,0	42,8	1,94	85,6	3,89	42,8	1,94	85,6	3,89

Tabla 3. Granulometría de la arena de la cantera Victoria

Tamiz	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasado (%)
3/8"	-	-	-	100
#4	15	15	3	97
#8	136	151	30,2	69,8
#16	111	262	52,4	47,6
#30	96	358	71,6	28,4
#50	68,5	426,5	85,3	14,7
#100	43	469,5	93,9	6,1
Fondo	28			
Σtotal	497,5		336,4	

Tabla 4. Caracterización física de la arena Victoria

Propiedad	Victoria
P.U.S (kg/m ³)	1576,3
P.U.C (kg/m ³)	1648,5
Tamiz 200 (%)	3,4 %
P.E.C	2,51
P.E.S	2,56
P.E.A	2,64
% Absorción	2.04
% volumen de Huecos	34.32

Tabla 5. Ensayos físico del cemento P – 350 Mariel

Ensayos físicos -mecánicos	Valor
Finura de molido (% pasado, tamiz 170)	2,30
Peso específico (g/cm ³)	3,10
Superficie Específica (Blaine) (cm ² /g)	3237
Consistencia normal (%)	24,0
Tiempo de fraguado inicial (horas)	95
Tiempo de fraguado final (horas)	2:20

en tanto que su resistencia mecánica se presenta en la tabla 6.

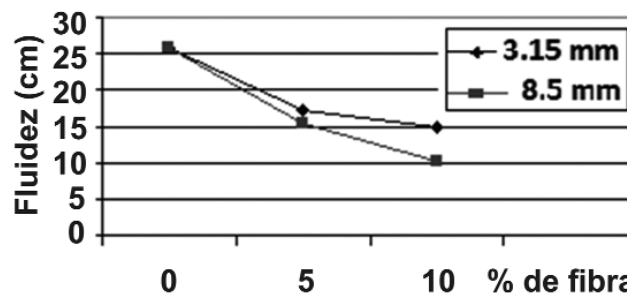
Existen varias propiedades que caracterizan al mortero fresco, pero en este caso se evaluó la trabajabilidad que representa el grado de fluidez o

Tabla 6. Caracterización mecánica del cemento P-350 Mariel

Resistencia a flexión (media)	3 días	6,09 MPa
	7 días	6,37 MPa
	28 días	7,93 MPa
Resistencia a compresión (media)	3 días	30,9 MPa
	7 días	36,8 MPa
	28 días	47,6 MPa

movilidad de la mezcla fresca, determinado con una precisión de 5 mm. Esta medida, también llamada asentamiento, varía de 2 a 18 cm, según el tipo de estructura y del procedimiento de colocación y compactación. En la figura 2 se pueden apreciar los resultados de la fluidez.

Los hormigones con baja trabajabilidad presentan problemas de mezclado y problemas de

**Figura 2.** Fluidez de los morteros.

compactación dentro de los moldes, lo que puede redundar en una disminución de la resistencia. Para mejorar la trabajabilidad de un hormigón, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia del concreto, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final.

Como puede apreciarse en la figura 2 el incremento en la adición de fibras produce un descenso de la fluidez para cualquiera de los tamaños de partículas de bagazo estudiado, lo cual es debido a un incremento del área superficial de la porción fibrosa en la mezcla.

Por otra parte, mientras más grande sean las partículas de bagazo, menor será el valor de fluidez para una misma carga de fibras, ya que se incrementa el agarre y el amontonamiento entre las mismas. Se ha observado que las fibras de bagazo mineralizadas son más resbaladizas y se dispersan más aleatoriamente en la mezcla que las fibras sin mineralizar, por lo que son menos propensas al amontonamiento.

La necesidad de disponer de un mortero ligero requerirá la utilización de agregados ligeros o fibras de baja densidad. Los morteros ligeros podrían ser utilizados en losas de edificios altos, en falso techos y paredes divisorias.

En las figuras 3 y 4 se observa que para un mismo tamaño de partícula del bagazo, la densidad del material compuesto disminuye al incrementarse la carga de fibras de un 5 a un 10 %, lo cual es una consecuencia de que las fibras, cada vez más, van ocupando mayor volumen, desplazando así elementos de la matriz como el cemento y la arena que son más pesados. Es por ello que

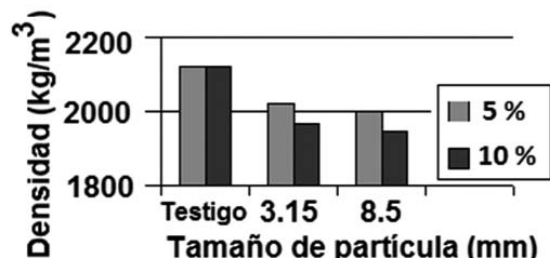


Figura 3. Densidad de las probetas a los 7 días.

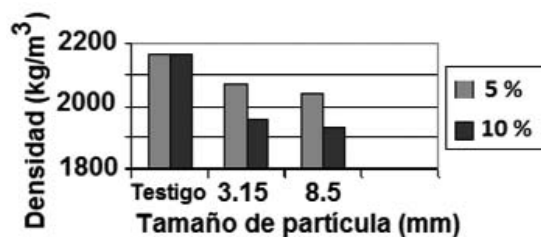


Figura 4. Densidad de las probetas a los 28 días.

estos materiales compuestos van a ser más ligeros que el testigo que no tiene fibras.

Para los compuestos con adición de un 10 % de fibra en base cemento y tamaño de fibra de 3,15 mm y 8,5 mm, la densidad disminuye en un 7,16 % y un 8,30% respectivamente a los 7 días de curado, mientras que a los 28 días de curado las reducciones son de 9,65 % y 10,72 % respectivamente.

En la figura 5 se puede ver el efecto que produce la compactación en una prensa hidráulica sobre la densidad del material compuesto. Para una misma carga de fibras el efecto de incrementar la presión de 1 a 5 kg/cm² produce incrementos en la densidad, del orden del 6,26 % y el 8,17 %, respectivamente para cargas del 5 y el 10 % de fibras, lo cual es sugerente, de que incrementando la carga de fibras y la presión de compactación del material compuesto podemos lograr densidades cercanas a la del testigo sin compactar, lo que trae aparejado mayor resistencia mecánica.

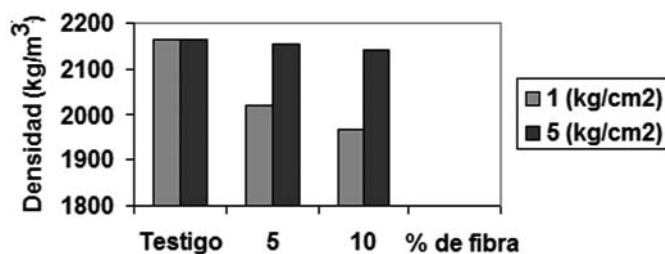


Figura 5. Densidad de las probetas con fibras a los 28 días.

La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas a través de dos caras paralelas de una probeta da un criterio del grado de adherencia representado por el estado en el cual dos superficies (fibra-matriz cementicia) se mantienen unidas por los efectos interfaciales que pueden consistir en fuerzas moleculares, acción de trabazón, o ambas. Como se observa en la tabla 7, para cualquiera de los planos en los que se hizo propagar la onda, se produce una disminución de la velocidad de propagación a medida que se incrementa la carga de fibra, debido a que se crean vacíos entre la fibra y la matriz que dificultan el traslado de la onda. El curado a los 28 días tiende a mejorar la adherencia y por tanto esto repercute en que se obtengan materiales con mejores resistencia.

El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. La resistencia a la compresión del hormigón, la cual define su calidad, depende de varios factores:

- la relación agua/cemento ($a/c = 0,5$ a $0,7$).
- la dosificación.

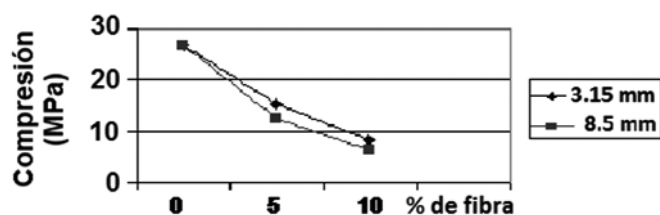
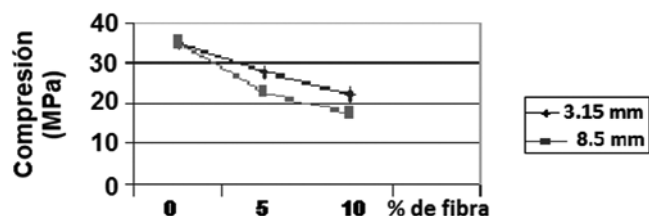
Tabla 7. Velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas (m/s) a través de las probetas

	7 días			28 días		
	Largo	Ancho	Profundidad	Largo	Ancho	Profundidad
Testigo	3777	3025	3000	3525	3055	3063
5 %	2875	2563	2600	3100	2797	3140
10 %	2437	1950	1963	2890	2506	2403

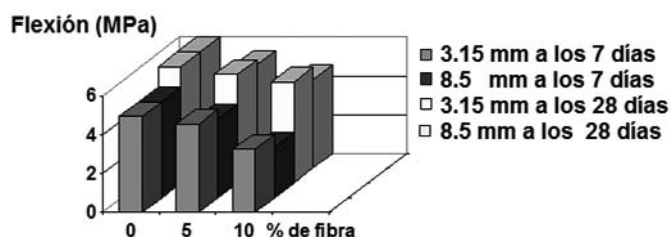
- c) la forma de curado.
d) la calidad de sus componentes (cemento y áridos).

Desde el punto de vista de propiedades físicas y mecánicas, como se aprecia en las figuras 6 y 7, se obtienen los resultados esperados en aquellos morteros en los que la cantidad de fibra es mayor. Así, los valores de resistencia a compresión son menores dado que, por una parte, la fibra es arrancada y no tiene buena cohesión con la matriz, y en el otro caso, se ha sustituido parte del árido por fibra. Como puede observarse la resistencia a compresión es mayor para el testigo (0 % de adición de fibras).

Puede observarse de acuerdo a la figura 8 que la resistencia a flexión es mayor en el testigo pero

**Figura 6.** Resistencia a compresión de las probetas a los 7 días.**Figura 7.** Resistencia a compresión de las probetas a los 28 días.

los valores de flexión correspondientes a la carga de 5 % de fibra se acercan bastante a los valores del testigo, tanto para los tamaños de partícula de 3,15 mm como de 8,5 mm, lo que sugiere, de acuerdo al comportamiento de estos materiales compuestos, para las condiciones dadas, que valores de carga de fibra entre 0 y 5 % pudieran representar un pico en la resistencia a flexión por encima del testigo.

**Figura 8.** Resistencia a flexión en las probetas a los 7 y 28 días.

Como era de esperar el curado a los 28 días mejoró la resistencia a flexión. En resumen, se encontró que en la medida que se adiciona fibra a la matriz cementicia, se reduce la resistencia del material y la densidad del mismo, aspecto que coincide con lo denotado por otros investigadores (9, 10).

En la tabla 8 se observa que al aplicarle una presión de compactación de 5 kg/cm² a las probetas se obtienen materiales con una resistencia a compresión más cercana a la del testigo, en tanto que la resistencia a flexión supera a la del testigo. Las probetas con tamaño de partícula de bagazo de 3,15 mm supera en propiedades a la correspondiente al tamaño de partícula de bagazo de 8,5 mm, probablemente debido a que las fibras tienen mejor distribución y acomodo dentro de la matriz.

Tabla 8. Propiedades de resistencia de las probetas sometidas a 5 kg/cm² de presión y 28 días de curado

Longitud de las partículas fibrosas	Resistencia a flexotracción (MPa)			Resistencia a compresión (MPa)		
	0	5	10	0	5	10
Carga de fibras (%)						
Probetas con fibras de 3,15 (mm)	6,0	7,5	6,35	34,86	29,5	27,8
Probetas con fibras de 8,5 (mm)	6,0	6,9	6,19	34,86	28,2	25,6

El hormigón estructural con fibras puede ser clasificado sobre la base de su densidad (las propiedades físicas y mecánicas de este material están relacionadas con la densidad).

Es normal trabajar con hormigones de 1200 y 1500 kg/m³, estando estos últimos destinados a soportar cargas. Ambos hormigones pueden ser aserrados y clavados con herramientas ligeras, pero solamente los segundos proveen buena adherencia con los clavos. Los que tienen una densidad de 1200 kg/m³ alcanzan valores a compresión de 60 (5,88 MPa) a 80 kg/cm² (7,84 MPa) y a flexión de 20 a 30 kg/cm², (1,96-2,94 MPa) y los segundos de 100 a 150 kg/cm² (9,80-14,70) y de 30 a 60 kg/cm² (2,94 - 5,88) a compresión y flexión, respectivamente.

No existe uniformidad de criterios por parte de los investigadores en relación con la cantidad porcentual de fibras y el incremento de la resistencia a la flexión del compuesto cementicio, estableciéndose márgenes entre 6 y 20 %.

Un refuerzo con alto contenido de fibras produce un hormigón "flexible". Las fibras naturales de refuerzo son obtenidas a bajo costo y son de particular interés en regiones de menos desarrollo, donde los materiales de construcción son de menor accesibilidad o muy caros. Son especialmente útiles en la confección de paneles, tejas, tuberías, etc.

CONCLUSIONES

La fibra de bagazo de caña de azúcar, mineralizada con silicato de sodio le imparte propiedades mecánicas aceptables al material compuesto, especialmente la resistencia a la flexión, que sobrepasa a la correspondiente al testigo, sin adición de fibra.

El material compuesto con la adición de fibras de bagazo mineralizadas del 10 % en relación al peso total del cemento, provoca reducciones en la densidad del material, a los 28 días de curado, que varían entre 9,65 % y 10,72 % para los tamaños de partículas de 3,15 y 8,5 mm, con respecto a probetas patrones con densidades promedios de 2165 kg/m³, aspecto importante para la elaboración de paneles y tableros utilizados en paredes divisorias y falso techo.

La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, impregnadas con silicato de sodio, es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y a la longitud promedio de las partículas de bagazo.

El desarrollo de la tecnología de producción de paneles y tableros de bagazo - concreto y su implementación en la práctica social representa una alternativa ventajosa para dar solución a programas de construcción masivos de viviendas de bajo costo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Scrivener, K. L; Kirkpatrick, R. J. (2008) Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and Concrete Research* 38 (2) pp.128-136.
2. Kurtis, K.E (2015) Innovations in cement-based materials: Addressing sustainability in structural and infrastructure applications. *Materials & Engineering: Propelling Innovation*. Volume 40, Issue 12 December, pp. 1102-1109.
3. Pacheco-Torgal, F; Jalali S (2011) "Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review," *Construction and Building Materials*. Vol. 25 p. 575-58.
4. Ardanuy, M; Claramunt, J; Dias, R. (2015) Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials* Volume 79, p. 115-128.
5. Amoo K., Adefisan O. O., Olorunnisola, A. O. (2016) Development and Evaluation of Cement-Bonded Composite Tiles Reinforced with *Cissus populnea* Fibres, *International Journal of Composite Materials*, Vol. 6 No. 4, pp. 133-139.
6. ICIDCA (1986) Productos aglomerados. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico-Técnica. Cuba.
7. Acevedo, J. (2000) Desarrollo de paneles ligeros a base de fibras Orgánicas en matriz de cemento Pórtland" Centro de Estudio de Construcción y Arquitectura Tropical. CUJAE. Cuba.
8. Osorio, J. (2007) Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Revista Dyna*. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Facultad de Minas. Vol.74 n.153, p. 69-79.
9. Juárez, C. A; Rodríguez, P; Rivera, R, Rechy, M.A (2004) Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierías*, Vol. VII, N°22.Ene-Mar. pp 7-19.
10. Shah, S; Marikunte, S. (1993) Fiber Reinforced Concrete. *Proc. of ACBM Faculty enhancement. Workshop*, pp. 226 - 252.